Módulo 2: Engenharia de Sistemas

Escrito por **Bruce Eisenhart**, vice-presidente de Operações, Consensus Systems Technologies (ConSysTec), Centreville, VA, USA

Propósito

O propósito do presente módulo é apresentar uma visão geral do processo de engenharia de sistemas (SEP — Systems Engineering Process) que é essencial ao desenvolvimento dos projetos do sistema de transporte inteligente (ITS — Intelligent Transportation Systems). O SEP é um processo interdisciplinar estruturado que atende às necessidades dos usuários, provedores e outras partes interessadas, ao mesmo tempo que mantém o cronograma e orçamento do projeto. O presente módulo também apresenta uma visão geral dos tópicos relacionados, incluindo a Arquitetura Nacional do ITS, entre outras arquiteturas, o Programa de Padrões do ITS e o uso do SEP para planejar e empregar os projetos do ITS.

Objetivos

O presente módulo tem os seguintes objetivos:

- Apresentar o SEP e descrever como adotá-lo no desenvolvimento de projetos de ITS.
- Apresentar uma visão geral das arquiteturas de ITS.
- Revisar o papel dos padrões do ITS no processo de desenvolvimento.
- Debater sobre a Regra de Arquitetura e Padrões e o papel da engenharia de sistema e da arquitetura do ITS no atendimento aos requisitos das regras.
- Identificar como o SEP pode apoiar o planejamento de transporte.

Introdução

A engenharia de sistemas oferece uma estrutura para o desenvolvimento dos sistemas complexos usados em projetos de engenharia. Em uma retrospectiva do Projeto Apollo da Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (NASA) dos EUA, a engenharia de sistemas recebeu o crédito pelo sucesso do projeto na década de 1960. "O pessoal da NASA empregou o conceito da 'gestão do programa' que centralizou a autoridade e enfatizou a engenharia de sistemas. A gestão de sistemas do programa foi fundamental para o sucesso do Apollo. Compreender a gestão de estruturas complexas para a conclusão bem-sucedida de uma tarefa poliédrica foi um desenvolvimento bastante importante da iniciativa Apollo."[1]

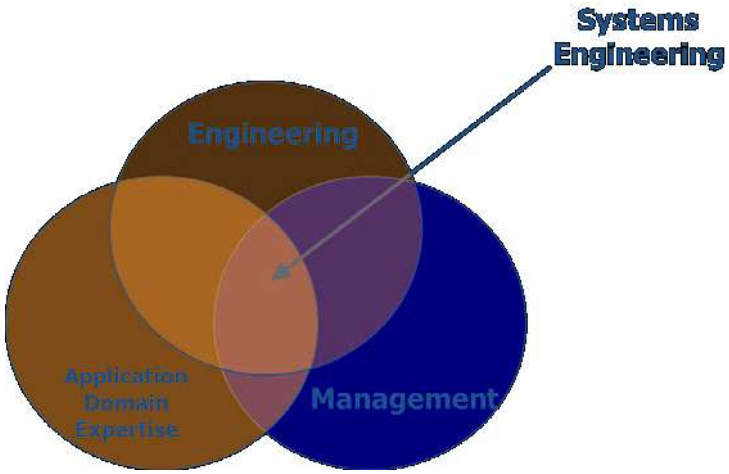
A engenharia de sistemas oferece uma estrutura para organizar o caos, conforme demonstrado neste vídeo interessante: www.youtube.com/watch?v=t0tGd5igKZM&list=TL2cvF2Qi7Bc4. O presente módulo apresenta o SEP e como ele é usado no planejamento e desenvolvimento de projetos ITS.

O Conselho Internacional de Engenharia de Sistema (INCOSE — International Council on Systems Engineering) oferece a seguinte breve definição do campo:

> A engenharia de sistemas é uma abordagem interdisciplinar que tem como objetivo concretizar sistemas de sucesso.[2]

O termo *interdisciplinar* é um conceito fundamental na engenharia de sistemas. A fim de desenvolver um sistema bem-sucedido, é necessário adotar uma disciplina básica de engenharia, uma disciplina de gestão e perícia no domínio de aplicação do sistema. No caso do ITS, o domínio de aplicação é a engenharia de transporte. O ponto onde essas disciplinas se encontram é a esfera da engenharia de sistemas.

Figura 1. Melhoria na engenharia de sistemas



Fonte: Administração de Pesquisa e Tecnologia Inovadora (RITA — Research and Innovative Technology Administration) do Departamento de Transporte dos EUA, Apresentação de Arquitetura Nacional do ITS e Melhoria do Processo SE.

O objetivo da engenharia de sistemas é desenvolver um sistema com sucesso. Apesar de existirem várias maneiras de se medir o sucesso, a meta é criar um sistema de qualidade desenvolvido dentro do orçamento e do cronograma e que satisfaz os requisitos técnicos e as expectativas das partes envolvidas, que usarão ou farão a manutenção do sistema.

A ideia de engenharia de sistemas data da década de 1930. Os princípios e processos básicos foram desenvolvidos nas décadas de 1940 e 1950 para apoiar o desenvolvimento de sistemas militares cada vez mais complexos. Nos últimos 20 anos, o uso do SEP no desenvolvimento de sistemas mais generalizados foi codificado em um conjunto de padrões internacionais (consulte a seção "Recursos Adicionais"). No caso do desenvolvimento de projetos de ITS, o uso dos padrões é relevante porque o aspecto do sistema de ITS é cada vez mais complexo, combinando hardware, software e comunicações para fornecer serviços de transporte.

O Departamento do Transporte dos EUA (USDOT — U.S. Department of Transportation) reconheceu os possíveis benefícios da abordagem da engenharia de sistemas para os projetos de ITS. A Regra 940 da Administração Federal de Rodovias (FHWA — Federal Highway Administration) e a Política da Administração Federal de Trânsito (FTA — Federal Transit Administration)[3], que entrou em vigor em 2001, requer que uma análise da engenharia de

sistema (SEA — Systems Engineering Analysis) seja realizada para todos os projetos de ITS que utilizem financiamento do
Fundo do Fideicomisso de Rodovias, incluindo a Conta de Trânsito em Massa. Além disso, a regra da FHWA requer o desenvolvimento de uma arquitetura regional de ITS, definida pela regra como "uma estrutura para garantir o acordo institucional e a integração técnica para a implantação de projetos de ITS em uma região em particular".

O presente módulo amplia ambos estes tópicos.

Principais Conceitos do SEP

O processo de engenharia de sistema é definido por um conjunto de conceitos principais que será melhor desenvolvido na revisão passo a passo do processo abaixo. Esses conceitos principais envolvem as seguintes abordagens:

- Considere o seguinte ciclo de vida de um sistema. O SEP não se preocupa apenas com a linha do tempo de um projeto do início ao fim. O SEP considera as atividades de planejamento que ocorrem antes de o projeto começar e cobre os passos após o emprego inicial, incluindo operações e manutenção e aposentadoria ou reposição do sistema.
- Concentre-se no envolvimento da parte interessada. O SEP envolve as partes interessadas em todos os passos do processo, desde a identificação das necessidades até a validação do sistema. O envolvimento da parte interessada é primordial para a aplicação bem-sucedida do SEP.
- Compreenda o problema a ser resolvido. O SEP vê o problema do ponto de vista da parte interessada, definindo as necessidades da perspectiva do usuário.
- Lide com os riscos do projeto o mais cedo possível. Quanto mais cedo um risco for identificado e resolvido, melhor será o impacto nos custos ou no cronograma do projeto.
- Documente claramente o processo e resultado de cada passo. As partes envolvidas precisam revisar e documentar o resultado de cada passo do processo e tomar decisões com conhecimento de causa sobre como passar para o próximo passo.
- Ajuste o SEP para atender às necessidades do projeto. O SEP é escalonável de acordo com o tempo, a complexidade e o risco de um projeto. Ou seja, não é um processo que se ajuste a qualquer caso.

Benefícios e custos relacionados ao uso do SEP

O processo de engenharia de sistemas pode melhorar a qualidade do produto criado por um projeto de ITS, diminuir o risco de estourar o cronograma e orçamento e aumentar a probabilidade de a implantação atender às necessidades do usuário. Outros benefícios incluem a participação da parte interessada e melhor documentação não só dos produtos finais, mas também do processo de desenvolvimento em si. Qualquer pessoa que tentar acompanhar o projeto já em andamento, depois de alguém de importância deixá-lo inesperadamente, poderá compreender a vantagem que a boa documentação traz durante a iniciativa de desenvolvimento. Além disso, a vantagem de utilizar o SEP pode persistir durante o ciclo de vida do sistema, diminuindo os custos operacionais com a implantação correta do produto num primeiro momento, além de diminuir a necessidade de modificações mais tarde.

O SEP oferece uma série de benefícios, conforme indicado anteriormente, mas esses benefícios exigem alguns ajustes nos custos de desenvolvimento. Em geral, o uso do SEP resultará em um esforço maior nos primeiros estágios do processo de desenvolvimento, estágios esses que levarão a um design detalhado. Custos adicionais também podem ser

desembolsados durante a verificação sistemática que é descrita abaixo. Porém, estes custos planejados podem diminuir consideravelmente a possibilidade de o orçamento estourar como resultado de retrabalhos necessários para lidar com problemas mais adiante no processo de desenvolvimento.O esforço inicial investido no SEP dependerá da dimensão, complexidade e quantidade de riscos associados ao projeto. Os estudos conduzidos em uma área mais ampla do desenvolvimento do sistema averiguou que uma iniciativa de engenharia de sistemas tipicamente representa cerca de 10% do custo total de um projeto.

Em geral, quanto maior a dimensão, a complexidade e os riscos associados ao projeto, maior é a probabilidade de o esforço associado ao SEP surtir os efeitos desejados para concretizar os benefícios indicados acima.

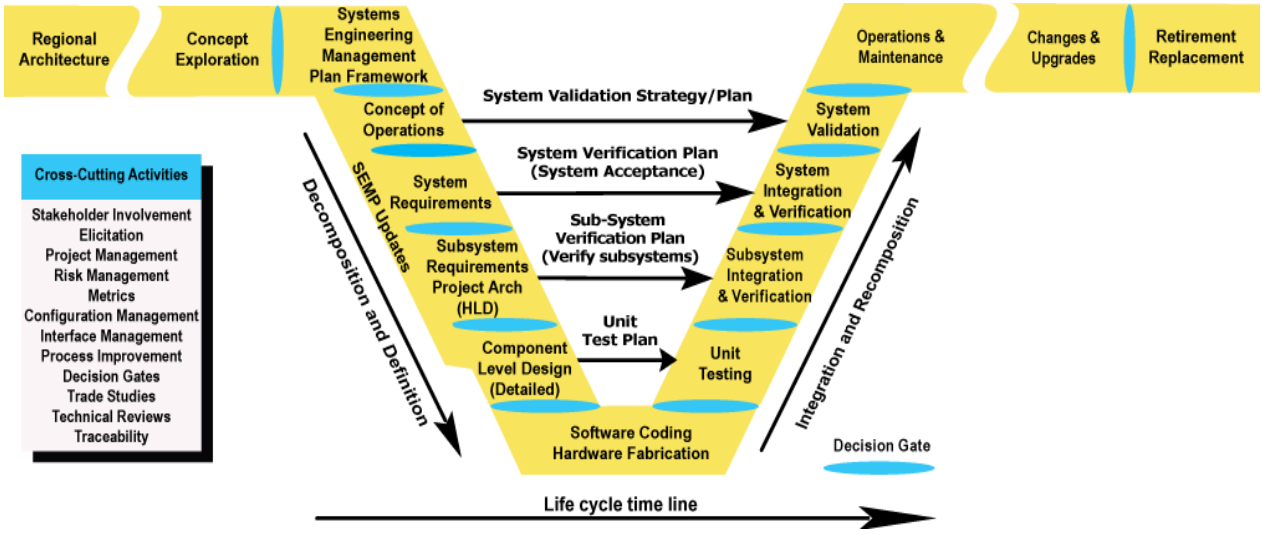
Visão geral do processo de engenharia de sistemas

A seguinte descrição do processo de engenharia de sistemas de ITS se baseia em dois documentos principais que foram desenvolvidos pela FHWA: *Engenharia de Sistema de ITS — Introdução para os profissionais de transporte*,[4] e *Guia de Engenharia de Sistemas para ITS*.[5]

Muitos modelos de processo diferentes foram desenvolvidos com o passar dos anos para especificar a série de passos que compõem a abordagem de engenharia de sistema. O modelo do processo V, ilustrado abaixo, passou a ser amplamente aceito na comunidade de padrões e é o modelo selecionado pelo USDOT nas duas referências apresentadas acima. Um dos principais motivos para a seleção desse modelo é que ele ilustra alguns dos principais princípios de SEP quanto à relação entre as fases iniciais de desenvolvimento e os resultados do projeto.

O debate a seguir acompanhará cada passo do processo. Este modelo do processo V foi retirado do *Guia de engenharia de sistemas*, que
tem um link para um website com muitos mais detalhes adicionais sobre cada passo do processo. Os links para a seção relevante do guia são acessados por um clique no ícone do passo do processo. Conforme o debate prossegue de um passo para o próximo, os passos, principalmente na parte esquerda do V, geralmente serão de natureza iterativa.

Figura 2. Modelo do processo V



Arquitetura regional do ITS

O primeiro passo a ser considerado no processo é como o sistema a ser desenvolvido é descrito na arquitetura regional do ITS, que representa um plano para o emprego do ITS na região. Como resultado dos requisitos do 23

CFR940 (abordado na seção Arquitetura de ITS mais adiante no presente módulo), mais de 400 arquiteturas regionais de ITS foram desenvolvidas em todo território americano.

Essas arquiteturas regionais identificam as partes interessadas na região, os sistemas que a região implantou (ou planeja implantar) e os serviços de ITS empregados atualmente ou planejados para a região. Como parte dessas arquiteturas regionais de ITS, os projetos de ITS planejados para a região são descritos e, na maioria das arquiteturas, os projetos de ITS são mapeados para uma parte da arquitetura. O propósito desse passo inicial é colocar o projeto no contexto do plano de ITS geral da região.

Exploração do conceito

O passo de exploração do conceito dentro do processo é usado para realizar uma análise inicial de viabilidade, uma análise dos benefícios ou uma avaliação das necessidades requeridas para facilitar o planejamento do sistema. Isso resulta em uma justificativa para os negócios e uma análise específica do custo-benefício para conceitos de projetos alternativos. O resultado desse passo pode ser uma definição do espaço do problema, os principais índices técnicos do sistema e o refinamento das necessidades, das metas, dos objetivos e da visão.

Esse passo proporciona uma justificativa para o projeto seguir adiante e ser desenvolvido. A atividade pode resultar na combinação ou divisão dos projetos candidados, com base na melhor análise de custo-benefício. Este passo apresenta a primeira de muitas "portas de decisão", representadas pelos ovais azuis entre os passos no diagrama V. Astas portas de decisão representam os principais pontos no processo onde uma decisão específica é tomada, de acordo com os resultados documentados ou as possíveis revisões técnicas, a fim de seguir adiante para o próximo passo do processo. A porta de decisão neste passo é receber assistência da Gerência e aprovação para o projeto passar para a programação da fase de financiamento do processo (quando os fundos são reservados para o desenvolvimento do sistema). Esse passo geralmente é realizado quando uma nova iniciativa significante ou um sistema é contemplado. No caso dos muitos projetos de ITS, principalmente aqueles que envolvem melhorias nos sistemas existentes, este passo pode não ser necessário ou talvez até condensado.

Planejamento da gestão da engenharia de sistemas

Cada projeto que segue adiante no desenvolvimento precisa ser planejado. O planejamento ocorre em duas partes. Na primeira parte, o proprietário do sistema desenvolve um conjunto de planos diretor e cronogramas que identificam quais planos são necessários e, em um nível organizacional superior, o cronograma para a implantação do projeto.

Essa parte se torna a estrutura para o que será desenvolvido na parte dois.

Os planos são concluídos durante os passos seguintes no SEP (do conceito das operações até o design detalhado). Após aprovados pelo proprietário do sistema, esses planos se tornam os documentos de controle para a conclusão do desenvolvimento e a implantação do projeto. O resultado principal deste passo é o documento de Plano de Gestão da Engenharia de Sistema (SEMP — Systems Engineering Management Plan).

O SEMP é uma extensão do plano clássico de gestão de projeto, mas controla o desenvolvimento técnico de um projeto de ITS. É o plano de nível superior para a gestão da

iniciativa de engenharia de sistemas, que define como a parte do projeto que lida com a engenharia de sistemas será organizada, estruturada e conduzida e como o processo de engenharia como um todo será controlado para oferecer um produto que atende aos requisitos do cliente. Este SEMP é o primeiro de uma série de documentos criados com parte do SEP para documentar o projeto e o processo no qual ele está sendo desenvolvido. Esses documentos serão descritos em cada um dos passos subsequentes e representam um dos conceitos principais do SEP, ou seja, documentar claramente o processo, assim como os resultados de cada passo do processo.

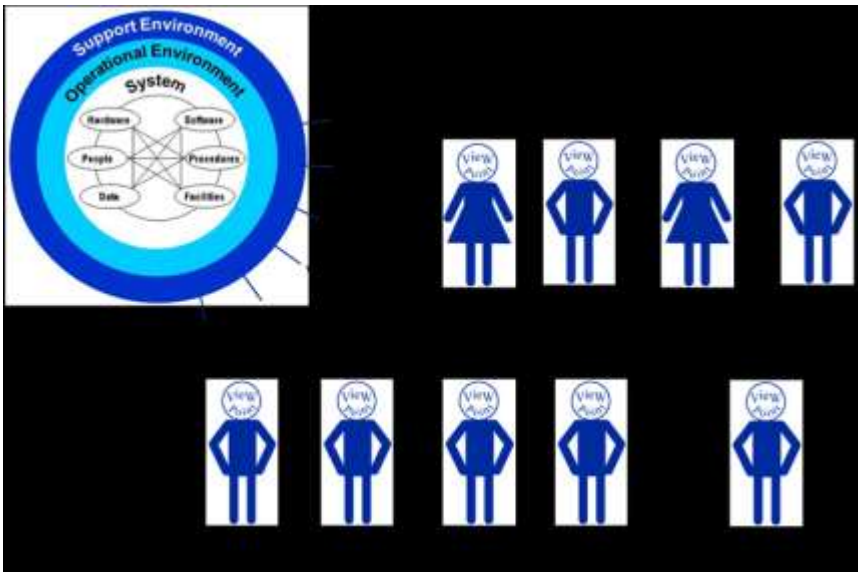
O SEMP identifica todos os documentos e planos que precisarão ser desenvolvidos ao longo do projeto. A versão inicial do SEMP, chamado às vezes de "estrutura SEMP, é desenvolvido no início do projeto e, geralmente, não é um documento extenso ou complexo, pois é basicamente um esboço do que está por vir. Apesar de o SEMP ser um conceito relativamente novo no desenvolvimento de projetos de ITS, é uma ferramenta extremamente importante na gestão do lado técnico do projeto. O SEMP tem a intenção de guiar a agência ou o proprietário do projeto durante a gestão do projeto. Não tem o objetivo de ser um documento sobre o projeto escrito pelos empreiteiros para a sua própria gestão interna; em vez disso, é a ferramenta principal para o proprietário do projeto monitorar o trabalho e andamento do empreiteiro.

Um modelo excelente para a criação do SEMP (assim como exemplos de SEMPs criados em projetos reais) é apresentado no *Guia de Engenharia de Sistemas para ITS*. O guia contém modelos e exemplos para toda a documentação de engenharia de sistemas abordada nos passos abaixo.

Conceito de operações

O propósito do passo de conceito de operações (ConOps) é apresentar claramente uma visualização de alto nível do sistema a ser desenvolvido e que cada parte interessada possa compreender. O documento de sustentação estrutura o sistema geral e estabelece o curso técnico do projeto. Um bom conceito de operações responde às perguntas Quem? O quê? Onde? Quando? Por quê? e Como? sobre o sistema, do ponto de vista de cada parte interessada, conforme mostrado na figura.

Figura 3. Conceito de operações



Fonte: ANSI/AIAA G-043A-2012.[6] (Reimpresso com permissão do Instituto Americano de

Aeronáutica e Astronáutica.)

O ConOps é um dos primeiros resultados principais do SEP e forma a base para a definição dos requisitos no próximo passo. O estágio ConOps do SEP é usado para garantir que a documentação dos criadores do sistema apresentará uma compreensão abrangente das necessidades do usuário.
Esse passo incorpora vários dos principais conceitos do SEP, o que inclui (a) envolver as partes interessadas, cuja opinião é primordial para o desenvolvimento do ConOps; (b) concentrar-se no problema e nas necessidades do usuário, e (c) partir da finalidade, ou seja, definir os principais resultados do sistema, assim como as principais operações e considerações de gestão.

A fim de cumprir esses passos, o ConOps documenta a maneira como o sistema contemplado funcionará e satisfará as necessidades e expectativas das partes interessadas. Neste passo, o diagrama SEP V mostra a primeira de várias setas que saem da parte esquerda do V (o lado da decomposição e definição) em direção à parte direita do V (o lado da integração), indicando a criação de uma Estratégia de Validação do Sistema ou um Plano de Validação do Sistema. O ConOps define as necessidades do usuário e, neste passo, os proprietários do SEP podem criar um plano para a validação dessas necessidades, que será usado para apoiar o passo de validação do sistema descrito abaixo.

Requisitos do sistema

Um dos atributos mais importantes de um projeto de sucesso é ter uma declaração clara dos requisitos que satisfazem as necessidades das partes interessadas. EIA-632 define um requisito como "algo que governa o que, até que ponto e sob quais condições um produto alcançará um propósito em particular."[7] Esta é uma boa definição porque aborda os tipos diferentes de requisitos que precisam ser definidos para um projeto. Os requisitos funcionais definem *o que* o sistema precisa fazer, os requisitos de desempenho definem *até que ponto* o sistema deve desempenhar as suas funções, e uma variedade de requisitos não funcionais define *sob quais condições* o sistema deve funcionar.

O passo dos requisitos é importante. Todo projeto de ITS precisa ter um conjunto de requisitos documentados, que são aprovados e para os quais uma referência é estabelecida (usando um processo de gestão de configuração, que é discutido mais adiante sob atividades transversais). É claro que esse passo não significa que uma nova especificação dos requisitos precisa ser escrita desde o princípio para cada projeto. Os projetos que aprimoram ou ampliam um sistema existente podem aproveitar os requisitos de sistema existentes ou, no caso de emprego de dispositivo em campo, o projeto pode operar usando as especificações feitas pela agência para o dispositivo.

Envolver as partes interessadas no desenvolvimento de requisitos é importante, pois elas são as maiores especialistas quando o assunto é quais funções o sistema deve ter, até que ponto o sistema deve desempenhar as suas funções e sob quais condições o sistema deve funcionar. O trabalho do engenheiro de sistemas é solicitar tais informações das partes interessadas. O

resultado deste passo deve ser um conjunto de requisitos documentados que lidam completamente com todas as necessidades dos usuários que foram definidas no ConOps. Conforme mostrado no diagrama V, os requisitos do sistema formam a base para a criação de um Plano de Verificação do Sistema que define um caso e método de verificação para cada requisito. Os requisitos do sistema também precisam reconstituir as necessidades do usuário a fim de demonstrar que todas as necessidades estão sendo atendidas.

A rastreabilidade é um conceito primordial no SEP e será abordado adiante em mais detalhes.

Requisitos do subsistema em design de alto nível

A abordagem da engenharia de sistemas define o problema antes de definir a solução. Todos os passos anteriores no diagrama V se concentraram primeiramente na definição do problema a ser resolvido. O passo do design de alto nível é o primeiro passo na definição da solução do projeto.

É um passo transicional importante que conecta os requisitos que foram definidos no passo anterior a uma estrutura de design que será aproveitada e adotada nos passos seguintes.[8]

Os principais resultados do passo de design de alto nível são dividir o sistema em subsistemas e definir as principais interações entre os subsistemas. Uma maneira de fazer isso é criando uma arquitetura de nível de projeto para o sistema. Isso pode ser uma arquitetura de projeto do ITS (conforme descrito mais adiante na seção sobre arquiteturas de ITS) ou pode ser uma visão mais detalhada dos principais componentes (ou seja, os subsistemas ou um nível adicional de decomposição) e links de comunicação. Neste passo, o processo identifica os padrões de ITS que apoiam a interação definida. (O tópico de padrões de ITS é abordado mais adiante no módulo.)

Dependendo da complexidade do sistema, os requisitos para cada elemento do subsistema poderão ser definidos e documentados da mesma forma que os requisitos do nível do sistema. Este passo é geralmente concluído com uma revisão importante da porta de controle, às vezes chamada de revisão preliminar do design.

Design detalhado

No passo de design detalhado (às vezes chamado de design de componente), a equipe de desenvolvimento define como o sistema será construído. neste passo, o enfoque é em *como* definir o sistema. A fim de realizar este passo, cada subsistema é definido mais detalhadamente por componentes de hardware, software, elementos de base de dados e firmware, entre outros.

Para esses componentes, especialistas em design detalhado dentro das suas respectivas áreas criam a documentação (especificações sob medida) que serão usadas para construir ou obter os componentes individuais. Se hardware e software personalizado precisarem ser desenvolvidos, os especialistas fazem o design detalhado desses componentes ou módulos de software. Em prática, a maioria do hardware usado nos projetos de ITS representa itens pré-existentes, então pouco ou quase nenhum design de hardware se faz necessário. O desenvolvimento de software personalizado é mais comum, mas até mesmo aqui a maioria dos projetos de ITS usa software pré-existente que pode ser personalizado para o projeto específico. Este design detalhado inclui a definição detalhada de interações, o que inclui a definição das comunicações a serem usadas para conectar vários subsistemas de hardware ou

componentes no projeto. Incluído na definição da interface e no design de comunicações está a personalização detalhada dos padrões de ITS a serem usados (consulte o debate mais adiante sobre os padrões de ITS para aprender mais sobre este passo). A porta de controle usada para este passo às vezes é chamada de "revisão crítica de design".

Um resultado adicional deste passo é a criação de planos de unidade que serão usados para verificar se as unidades satisfazem a especificação detalhada do design.

Aquisição ou desenvolvimento de hardware e software

Este estágio envolve a fabricação de hardware, codificação de software, implantação de banco de dados e aquisição e configuração de produtos existentes junto a fornecedores. O proprietário do sistema e as partes interessadas monitoram este processo com revisões periódicas planejadas, como por exemplo o acompanhamento completo e reuniões técnicas de revisão.

Concomitantemente a esta iniciativa, procedimentos de teste de unidade são desenvolvidos para serem usados na demonstração de como os produtos satisfazem o design detalhado. Quando da conclusão deste estágio, os produtos desenvolvidos estão prontos para o teste de unidade.

Teste de unidade

Os componentes do desenvolvimento de hardware e software são verificados de acordo com o plano de verificação de unidade. O propósito do teste de unidade é verificar se os componentes entregues satisfazem o design detalhado documentado. No caso da aquisição de hardware ou software existente junto a fornecedores, o teste de unidade tomaria a forma de testes de aceitação que são realizados para demonstrar que o hardware e software satisfazem os requisitos que foram reservados para cada unidade.

Integração e verificação de subsistema

Neste passo, os componentes são integrados e verificados no nível do subsistema; ou seja, se o subsistema satisfaz os requisitos especificados. O primeiro nível de verificação é feito de acordo com o plano de verificação e é realizado de acordo com os procedimentos de verificação (método passo a passo para a realização da verificação) que foi desenvolvido neste estágio.

Antes da verificação real, uma revisão de prontidão de teste pode ser realizada para determinar se os subsistemas estão prontos para verificação. Quando for determinado que a verificação pode seguir adiante, os subsistemas são então verificados. Quando a integração e verificação forem concluídas, o próximo nível do subsistema é integrado e verificado da mesma maneira.

Este processo tem continuidade até que todos os subsistemas sejam integrados e verificados.

Uma das principais características da integração do subsistema é a verificação da sua natureza iterativa. Normalmente, um projeto integrará uma parte do sistema, o verificará por meio de teste e, então, integrará mais um pouco do sistema, o verificará por meio de teste e assim por diante, até que o sistema completo seja montado.

Este processo seria verdadeiro para um sistema complexo. Entretanto, projetos com poucos componentes ou subsistemas podem passar rapidamente por este passo, ilustrando novamente

um ponto principal do SEP: ele precisa ser ajustado para cada projeto e o processo não é igual para todos.

Integração e verificação de sistema

Na engenharia de sistemas, é feita uma distinção entre verificação e validação. A verificação confirma que um produto satisfaz os requisitos especificados. A validação confirma que o produto atende seu uso pretendido. Em outras palavras, a verificação garante que você construiu o produto corretamente. A validação garante que você construiu o produto correto.

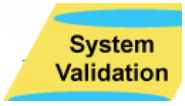
Esta é uma distinção importante, pois existem vários exemplos de produtos com ótima engenharia que satisfazem todos os requisitos, mas, no fim das contas, fracassaram ao servir o seu uso pretendido.

A verificação do sistema geralmente é feita em duas partes. A primeira parte é feita sob um ambiente controlado (às vezes chamado de teste de fabricação). A segunda parte é feita dentro do ambiente no qual o sistema tem como propósito funcionar (às vezes chamado de teste e verificação no local) após o emprego inicial do sistema. Nesse estágio, o sistema é verificado de acordo com o plano de verificação desenvolvido como parte dos requisitos para o nível do sistema que são realizados no início do desenvolvimento.

Emprego inicial do sistema e validação do sistema

Durante o emprego, a equipe de desenvolvimento de projeto instala o ITS no ambiente operacional e transfere a sua operação para a organização que terá propriedade e operará o sistema. A transferência inclui equipamento de apoio, documentação, treinamento do operador e outros produtos de capacitação que apoiam o funcionamento e a manutenção do sistema em andamento. Os testes de aceitação são desenvolvidos como parte deste passo para confirmar se o sistema funciona conforme pretendido dentro do ambiente operacional antes de o controle ser transferido. A conclusão desse passo pode demorar várias semanas a fim de garantir que o sistema funciona satisfatoriamente em longo prazo. Isso às vezes é chamado de ajuste de sistema. Muitos problemas com os sistemas aparecem quando o sistema está funcionando no ambiente real durante um período longo.

Validação do sistema



Depois que o ITS for aprovado na verificação de sistema e instalado no ambiente operacional, geralmente são executados os testes de validação. Usando o plano de validação desenvolvido anteriormente, a equipe de desenvolvimento de sistema, o proprietário de sistema ou o operador realiza testes para determinar se o sistema empregado atende às necessidades originais identificadas no conceito de operações.

O DOT estadual, uma agência regional ou outra entidade também pode decidir se quer fazer os testes. Como resultado da validação, novas necessidades e novos requisitos podem ser identificados. Essa avaliação prepara o terreno para a próxima fase do sistema.

Funcionamento e manutenção

Após o emprego inicial e a aceitação do sistema, o sistema passa para a fase de funcionamento e manutenção. Nessa fase, o sistema realizará as operações pretendidas para as quais foi projetado. Durante essa fase, é realizada a manutenção de rotina, assim como o treinamento do pessoal. Esta é a fase mais extensa, passando pela evolução do sistema e terminando quando o sistema é aposentado ou substituído.

Esta fase pode durar décadas. É importante ter recursos adequados para realizar as atividades de operação e manutenção necessárias. Caso contrário, a vida do sistema poderia ser abreviada consideravelmente por causa de negligência."[9]

Mudanças e melhorias

Quando um sistema está em funcionamento, ele passa por várias mudanças e melhorias. Essas mudanças e melhorias podem ser realizadas passando pelos passos relevantes do diagrama V e atualizando os resultados conforme necessário.

Usar o processo V para mudanças e melhorias ajudará a manter a integridade do sistema (sincronização entre componentes do sistema e documentação de apoio). Quando tal abordagem é usada, a documentação da engenharia de sistema apresentada no desenvolvimento original pode ser atualizada para incluir as mudanças e melhorias. Um dos resultados do SEP é uma documentação precisa e completa, o que é extremamente importante para a realização bem-sucedida desse passo. Dependendo da natureza das mudanças e melhorias, o processo V usado pode ser curto (ex.: nenhuma mudança se faz necessária no ConOps e apenas mudanças de pequeno porte são necessárias nos requisitos).

Aposentadoria ou reposição

Eventualmente, todo ITS será aposentado ou reposto por motivos diferentes. O sistema pode deixar de atender às necessidades da agência ou mantê-lo em funcionamento pode deixar de oferecer uma boa relação custo-benefício. Os principais elementos do sistema podem se tornar obsoletos ou deixar de ser mantidos.

Seja qual for o motivo, o proprietário precisará planejar a aposentadoria ou reposição do sistema. O próximo passo poderá ser a realização de um estudo para avaliar os custos e benefícios da aposentadoria ou reposição do sistema. Do ponto de vista do processo, isso é equivalente a voltar para o passo de exploração de conceito e revisitar a justificativa para os negócios criada para o sistema. Em uma simetria condizente com o diagrama V, essa etapa final é um passo de planejamento que pode levar ao início de um novo projeto: a reposição do sistema.

Atividades transversais

Além dos passos abordados anteriormente, diversas atividades transversais são essenciais para o sucesso do SEP. O termo "*transversal*" é usado porque essas atividades não estão associadas a um único passo do processo, mas na verdade cruzam muitos ou até todos os passos. A seguir, descrevemos algumas atividades transversais que ocorrem durante o uso da engenharia de sistemas no desenvolvimento de quase qualquer sistema.

Gestão de projetos

A gestão de projetos é um processo pelo qual o custo, o cronograma e os recursos são administrados a fim de concluir um projeto com sucesso. Essa é uma disciplina separada, com seu próprio processo definido, além de um conjunto considerável de conhecimentos e padrões. A aplicação do processo de gestão de projetos é essencial para a conclusão bem sucedida dos projetos de ITS.

Assim sendo, a gestão do projeto e a engenharia de sistemas funcionam lado a lado durante o desenvolvimento do projeto. As práticas da gestão de projeto oferecem um ambiente favorável para as várias atividades de desenvolvimento. O processo oferece os recursos necessários, então monitora e controla os custos e cronogramas Também comunica o status do projeto entre e por meio de todos os integrantes da equipe de desenvolvimento, o proprietário do sistema e as partes interessadas.[10] O proprietário do sistema ou a agência tem interesse em verificar se a equipe de desenvolvimento (geralmente uma equipe de empreiteiros) está seguindo boas

práticas de gestão de projetos e pode exigir resultados essenciais, tais como o plano de gestão de projeto e o relatório de status de projeto como parte do produto do contrato.

Gestão de riscos

A gestão de risco consiste na identificação e no controle de riscos associados à iniciativa de desenvolvimento. O objetivo da gestão de risco é identificar possíveis problemas antes de eles ocorrerem, planejar para o momento em que eles acontecerem e monitorar o desenvolvimento do sistema para que uma medida possa ser tomada a fim de evitar a ocorrência.

Identificar riscos precocemente é um dos principais conceitos do SEP.

A gestão de risco inclui os seguintes passos gerais:

- Identificação de riscos — O objetivo da identificação de riscos é identificar precocemente os principais riscos que podem impedir o sucesso do projeto. Isso requer que os engenheiros de sistema, os gestores de projetos e as partes interessadas reflitam sobre os possíveis riscos de um projeto em particular. As principais áreas de risco são os aspectos técnicos, custo e cronograma. Além disso, a identificação de riscos deve considerar os possíveis riscos associados ao seguinte:
    - Jurisdição — A agência principal tem jurisdição ou existem outras agências responsáveis?
    - Software — Existe software comprovado que possa ser usado?
    - Interações — Interações novas se fazem necessárias ou o projeto pode depender de interações existentes?
    - Requisitos e procedimentos — Eles são bem definidos e documentados?
    - Experiência — O pessoal tem a experiência necessária para adquirir, implantar e operar o projeto?
- Análise de risco e priorização — Uma vez identificados os riscos, o próximo passo no processo é analisar e priorizar esses riscos. Para tanto, os desenvolvedores precisam responder três perguntas básicas:
    - Quais serão os impactos se os riscos se concretizarem?
    - Qual seria o nível de gravidade desse impacto?
    - Qual é a probabilidade de esse risco se concretizar?
- Mitigação de riscos — Para cada risco identificado, é necessário haver um plano para lidar com os possíveis impactos associados.
- Monitoramento de riscos — Finalmente, uma estratégia de mitigação de riscos se faz necessária para monitorar os riscos, assim a equipe de desenvolvimento estará ciente caso os riscos realmente se concretizem.

Um plano de gestão de riscos geralmente é desenvolvido no início do projeto (e geralmente incluído no SEMP). No entanto, o plano precisa ser revisado e atualizado regularmente durante o projeto para identificar novos riscos e avaliar se os riscos existentes estão se

concretizando. Um dos erros comuns durante a execução de projetos é criar um plano de gestão de riscos e não revisá-lo e atualizá-lo conforme o andamento do projeto.

Indicadores do projeto

Os indicadores do projeto são medidas usadas para rastrear e monitorar o projeto e o desempenho técnico esperado da iniciativa de desenvolvimento de sistemas. A identificação e o monitoramento dos indicadores permitem que a equipe determine se o projeto está no curso correto, tanto do ponto de vista programático quanto técnico. Os indicadores programáticos podem se tratar de simples status de orçamento e cronograma.

Os indicadores técnicos podem envolver a medição de vários requisitos definidos ou alterados durante um período. Tais indicadores são uma parte essencial do processo de gestão de projeto.

Gestão da configuração

A gestão da configuração é definida como "um processo de gestão para estabelecer e manter a coerência dos atributos físicos, funcionais e de desempenho de um produto e as suas informações de requisitos, design e funcionamento ao longo da sua vida".[11]
Além de simplesmente definir o estado atual de um sistema, a gestão da configuração envolve a gestão das mudanças feitas no sistema ao longo da sua vida.

O USDOT oferece a seguinte definição: "A gestão da configuração é o processo que apóia o estabelecimento da integridade do sistema (a documentação condiz com os atributos funcionais e físicos do sistema) e mantém essa integridade ao longo da vida do sistema (sincroniza as mudanças no sistema com a sua documentação)".[12]

A gestão da configuração consiste de três aspectos principais:

- Planejamento da gestão da configuração — definir o processo de gestão da configuração a ser usado no projeto. Esse plano geralmente é contido como uma seção do SEMP.
- Identificação da configuração — identificar quais itens (ex.: documentação, hardware e software) constituirão a "referência" a ser rastreada como parte da configuração oficial do sistema.
- Gestão de mudanças — definir o processo usado para incorporar mudanças à referência, incluindo como e quando as mudanças são feitas.
- Contabilização do status — acompanhar o status atual e quaisquer mudanças no processo para cada item de referência.

Em qualquer projeto, a gestão da configuração é um processo formal que tem início quando a primeira documentação é desenvolvida e tem continuidade conforme o projeto transita de um passo a outro no SEP. A documentação faz parte da referência e, uma vez criada, está sujeita ao processo de gestão de mudança conforme definido.

Rastreabilidade

A rastreabilidade é um conceito essencial do SEP que garante que os

diferentes resultados do processo estão devidamente relacionados uns com os outros. A rastreabilidade se concentra nos requisitos desenvolvidos para o projeto e como eles se relacionam com outros resultados do projeto.

Cada necessidade no ConOps precisa reconstituir um requisito no documento de requisitos do sistema. Se os requisitos do subsistema forem definidos, eles precisam reconstituir os requisitos do sistema. Os requisitos também precisam reconstituir os casos de verificação. Se forem criadas especificações de design, elas precisam reconstituir os requisitos do sistema e avançar (por meio dos planos de teste) para a verificação que é feita. Conforme descrito acima, a rastreabilidade tanto volta (dos requisitos às necessidades) como avança na linha do tempo (dos requisitos às especificações, até a verificação).A rastreabilidade é um conceito indispensável para o SEP, que garante que o sistema implantado no fim do projeto está diretamente conectado às necessidades do usuário que foram identificadas no início do projeto.

Tópicos relacionados

As próximas seções abordam diversos tópicos, incluindo os regulamentos federais que são relevantes para o uso do SEP no desenvolvimento dos projetos de ITS.

Arquitetura de ITS

A arquitetura de ITS é um componente-chave no primeiro passo do modelo do processo V. A arquitetura de ITS é uma estrutura que descreve os serviços de transporte relacionados ao ITS. Os três níveis da arquitetura de ITS são relevantes para qualquer debate sobre o processo de engenharia de sistemas:
a Arquitetura Nacional do ITS, as arquiteturas regionais do ITS e as arquiteturas de projeto do ITS. Cada um desses tipos de arquitetura são apresentados abaixo.

Arquitetura Nacional do ITS

A Arquitetura Nacional do ITS oferece uma estrutura comum para o planejamento, a definição e a integração dos sistemas de transporte inteligente. É um produto maduro que reflete as contribuições de uma comunidade de ITS de ampla seção transversal (profissionais do transporte, engenheiros de sistema, criadores de sistema, especialistas em tecnologia e consultores, entre outros).

A arquitetura define os seguintes elementos:

- As funções (ex.: coleta de informações de trânsito ou pedido de uma rota) necessárias para o ITS
- As entidades físicas ou os subsistemas onde essas funções se encontram (ex.: no campo ou no veículo)
- Os fluxos de informações e de dados que conectam estas funções e subsistemas físicos em um sistema integrado

A Arquitetura Nacional do ITS é mantida e atualizada pelo USDOT em colaboração com os envolvidos do ITS. A primeira versão da Arquitetura Nacional do ITS foi lançada em junho de 1996. A atualização mais recente, a Versão 7.0, foi lançada pelo USDOT em janeiro de 2012 (www.iteris.com/itsarch/index.htm).

A Arquitetura Nacional do ITS é formada por três camadas arquitetônicas: Institucional, de Transporte e de Comunicação*:*

> A Camada Institucional inclui instituições, políticas, mecanismos de financiamento e processos exigidos para a implantação efetiva, o funcionamento e a manutenção de um sistema de transporte inteligente. A Camada de Transporte define as soluções de transporte em termos de subsistemas e interações, assim como a funcionalidade implícita e as definições dos dados necessários para cada serviço de transporte.
> Essa camada é o núcleo da Arquitetura Nacional do ITS. A Camada de Comunicação proporciona uma troca precisa e pontual das informações entre os sistemas para apoiar as soluções de transporte.
> (Fonte: www.iteris.com/itsarch/html/archlayers/archlayers.htm.)

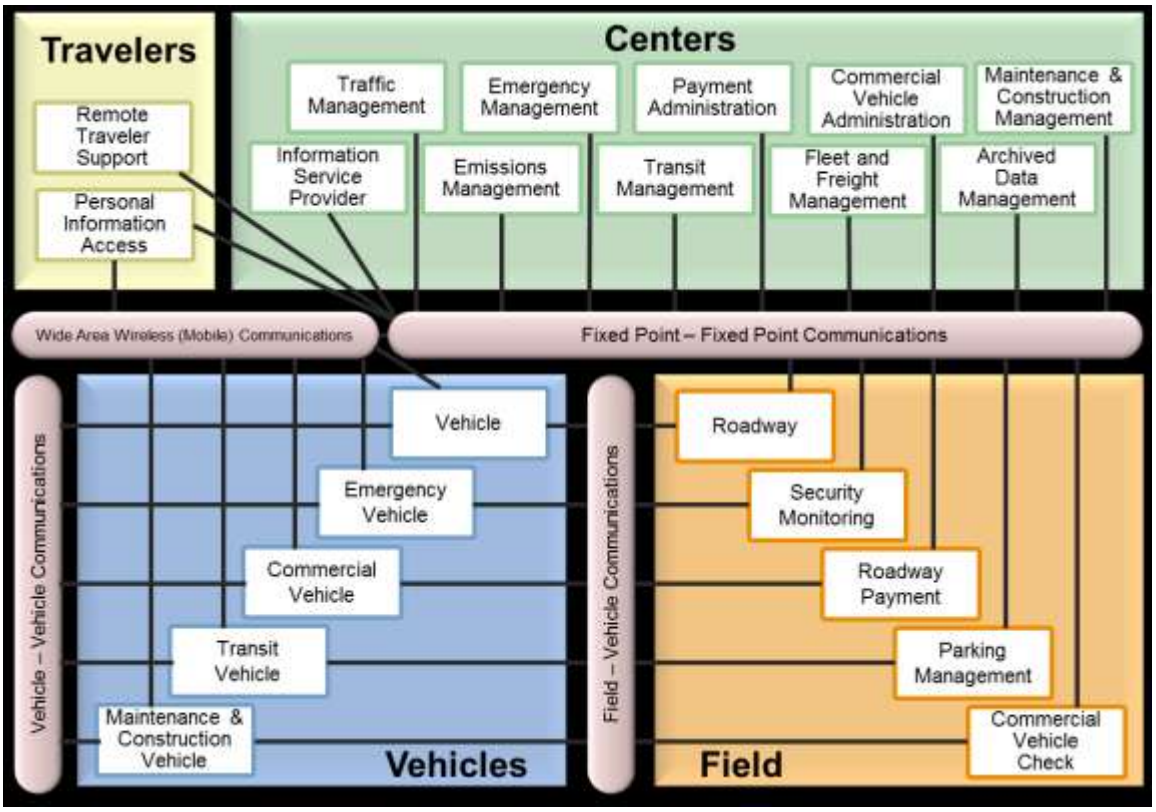
A camada da Arquitetura Nacional do ITS mais relevante para este debate sobre a engenharia de sistemas é a de transporte, na qual é definida a arquitetura lógica (com base na função) e a física (com base nos sistemas e nas interconexões). Abaixo demonstramos o diagrama de interconexão de alto nível da arquitetura física, que identifica os 22 subsistemas da arquitetura e os tipos de interconexões. A arquitetura física define as informações que fluem entre os principais subsistemas envolvidos na entrega dos serviços de ITS. Esses serviços de ITS são descritos por um conjunto de pacotes de serviço que definem a parte da arquitetura geral necessária para proporcionar um serviço específico (ex.: Gestão de Incidente de Trânsito).
As partes gerais da Arquitetura Nacional do ITS são mais numerosas e interconectadas do que o que é descrito aqui. (Para consultar uma visão mais detalhada da Arquitetura Nacional do ITS, consulte o site www.iteris.com/itsarch/index.htm.)

§ 940.9 Arquitetura Regional do ITS. A arquitetura regional do ITS deve incluir, no mínimo, o seguinte:
(1) Uma descrição da região
(2) A identificação das agências participantes e de outras partes interessadas
(3) Um conceito operacional que identifica os papeis e as responsabilidades das agências participantes e as partes interessadas no funcionamento e na implantação dos sistemas incluídos na arquitetura regional do ITS

(4) Quaisquer acordos (existentes ou novos) necessários para o funcionamento, incluindo, no mínimo, aqueles que afetam a interoperabilidade do projeto ITS, a utilização dos padrões de ITS e o funcionamento dos projetos identificados na arquitetura regional do ITS

(5) Requisitos funcionais do sistema
(6) Requisitos da interface e trocas de informação com sistemas e subsistemas planejados e existentes (ex.: subsistemas e fluxos de arquitetura conforme definido na Arquitetura Nacional do ITS)
(7) Identificação dos padrões de ITS que apóiam a interoperabilidade regional e nacional e
(8) A sequência dos projetos necessários para a implantação
Fonte: Regra 23 CFR 940.

Figura 4. Arquitetura Nacional do ITS



Do ponto de vista do SEP, a importância primordial da Arquitetura Nacional do ITS é o modelo que ele fornece na forma de subsistemas, fluxo de informações e pacotes de serviços que são a base das arquiteturas regionais do ITS que foram discutidas no primeiro passo do SEP. Esse modelo torna possível a criação de arquiteturas regionais do ITS por meio dos países que têm uma estrutura implícita e definição em comum.

Arquitetura regional do ITS

Considerando que a Arquitetura Nacional do ITS orienta os programas do ITS em nível nacional e trata de todos os subsistemas, tecnologias e padrões, as arquiteturas regionais do ITS definem os planos, programas, metas e objetivos para implantação de maneira mais localizada. As arquiteturas regionais do ITS foram desenvolvidas para os Estados Unidos, as áreas metropolitanas e outras regiões de interesse. Elas são desenvolvidas para a participação dos envolvidos regionais, incluindo proprietários e gerentes de rodovias, agências de trânsito, agências de segurança pública, organizações de transportes motorizados e outras instalações de transportes públicos.

Uma arquitetura regional do ITS é desenvolvida para satisfazer as necessidades específicas de uma região, definir as metas do programa e as funções e responsabilidades das partes interessadas e administrar acordos institucionais e a integração técnica do ITS dentro da região. Ela representa a adaptação regional da Arquitetura Nacional do ITS. A elaboração de uma arquitetura regional do ITS produz uma visão compartilhada para implantação do ITS e

impulsiona programas de melhoria do transporte regional e planos de transporte de longo alcance por meio do estabelecimento de metas e planejamento de operações para programas regionais do ITS.

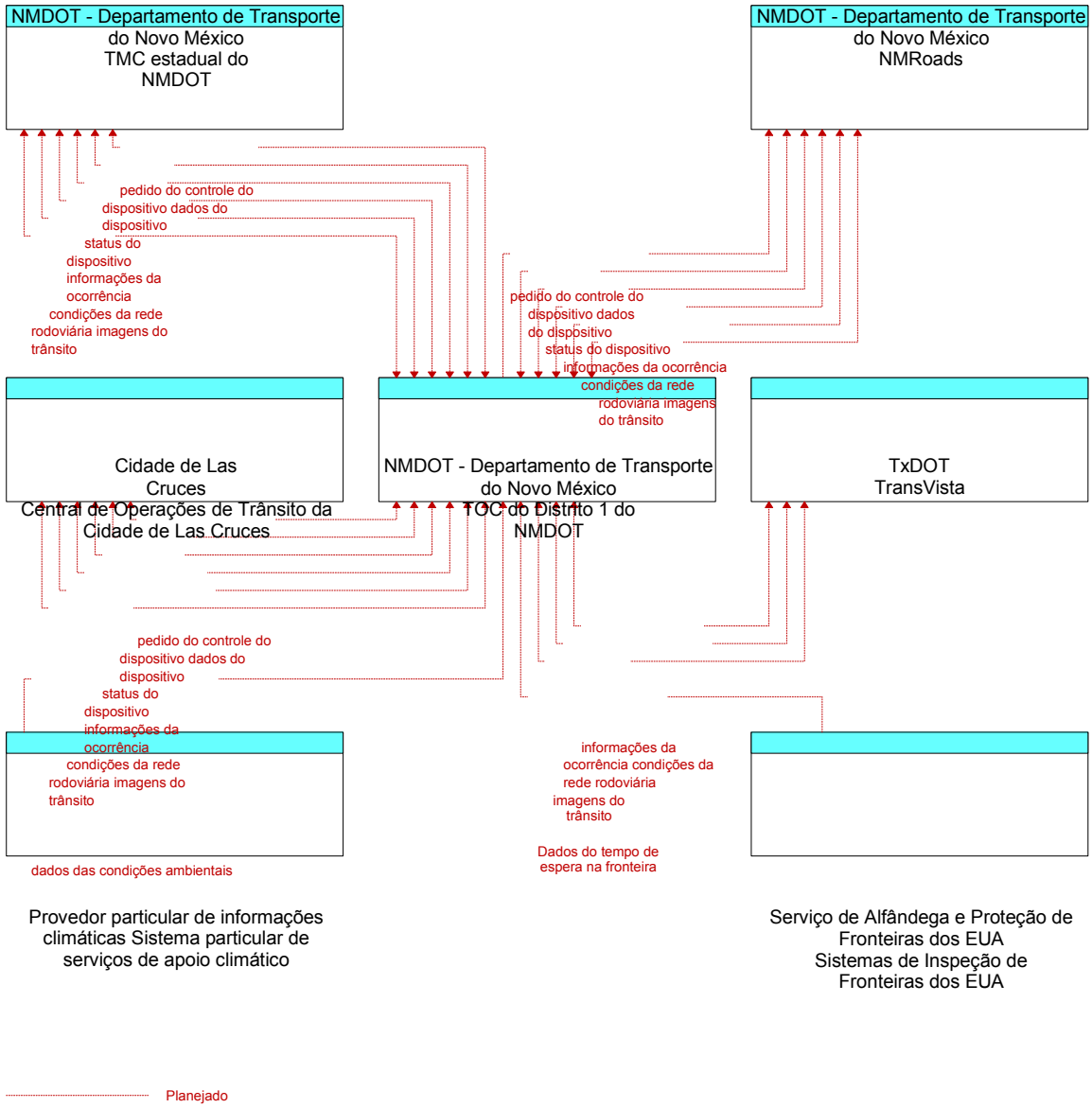
Os componentes de uma arquitetura regional do ITS são definidos pela Regra 940 (e a política correspondente da FTA). A FHWA criou uma ferramenta de desenvolvimento de arquitetura regional do ITS chamada Turbo Architecture, que é um banco de dados que contém detalhes sobre partes interessadas, sistemas, serviços de ITS, interconexões do sistema, projetos, acordos, padrões de ITS, funções e responsabilidades e requisitos funcionais. Outras informações sobre as arquiteturas de ITS, além de exemplos sobre cada resultado exigido, pode ser encontradas no documento *Documento Guia da Arquitetura Regional do ITS*.[13]

Arquitetura de Projeto do ITS

Uma arquitetura de projeto do ITS é a visualização de alto nível de um projeto que se concentra nos sistemas, nas interações e nos fluxos de informação relevantes para o projeto. Conforme abordado na visão geral do SEP, esse é o resultado típico do passo de design de alto nível. Apesar de este tipo de arquitetura poder ser criada em níveis diferentes de detalhes, uma maneira fácil e eficaz de criar uma arquitetura de projeto do ITS é criar um subconjunto da arquitetura regional do ITS que se relaciona ao projeto. Usando essa fórmula, a arquitetura do projeto definiria as partes interessadas, os sistemas, os serviços de ITS, as interações, as funções e responsabilidades, os acordos e os requisitos funcionais relevantes para o projeto. Muitos desses resultados da arquitetura de projeto do ITS podem ser usados para realizar uma análise da engenharia de sistema necessária por outra seção da Rua 940 (consulte o debate abaixo). A ferramenta Turbo Architecture pode ser útil na criação da arquitetura de projeto do ITS. A seguir, apresentamos um exemplo de um diagrama de arquitetura de projeto criado com a ferramenta Turbo Architecture a partir da arquitetura estadual do ITS do Novo México.

Este projeto, para a melhoria da Central de Operações de Trânsito do Distrito 1, mostra as principais interações que serão desenvolvidas como parte do projeto.

Figura 5. Arquitetura regional do ITS



Fonte: Consensus Systems Technologies (ConSysTec).

Apesar de as arquiteturas de projeto de ITS geralmente serem produzidas a partir de uma arquitetura regional do ITS, conforme ilustrado acima, em certos casos o projeto não pode ser descrito na arquitetura regional do ITS. Nesse caso, uma arquitetura de projeto do ITS semelhante à arquitetura de projeto do ITS pode ser produzida e, então, usada para ajudar a atualizar a arquitetura regional do ITS na sua próxima iteração.

Padrões de ITS

O website com os padrões do ITS da RITA descreve os padrões da seguinte maneira:

> Os padrões de ITS definem como os sistemas, produtos e componentes de ITS podem interconectar-se, trocar informações e interagir a fim de proporcionar os serviços dentro da rede

de transporte. Os padrões de ITS são de interação aberta e estabelecem as regras de comunicação sobre o desempenho dos dispositivos de ITS, como eles podem se conectar e fazer a troca de dados a fim de concretizar a interoperabilidade. É importante notar que os padrões de ITS não são padrões de design: Eles não especificam os produtos ou designs a serem usados. Em vez disso, o uso dos padrões deixam as agências de transporte confiantes de que os componentes de diferentes fabricantes funcionarão bem juntos, sem deixar de incentivar os criadores de design e fabricantes, que competirão para fornecer produtos mais eficientes e que oferecerão mais opções.

(www.standards.its.dot.gov/learn_WhatAre.asp)

Os padrões de ITS lidam com os dados transferidos em uma interface, os protocolos de comunicação usados para enviar dados e, em alguns casos, a especificação física do hardware. Do ponto de vista dos dados, os padrões de ITS se concentram na interação e na troca de informações identificada na Arquitetura Nacional do ITS. O desenvolvimento de padrões tem o apoio do Programa de Padrões ITS do Escritório Conjunto do Programa (JOP — Joint Program Office) do USDOT, que oferece um processo colaborativo para definir e atualizar os padrões para o uso por todas as entidades públicas e privadas envolvidas no desenvolvimento de aplicativos e tecnologias de ITS. O Programa de Padrões do ITS trabalha com organizações de desenvolvimento de padrões, tais como a Associação Americana de Estradas Estaduais e Organizações de Transporte (AASHTO — American Association of State Highway and Transportation Officials), o Instituto de Engenheiros de Transporte (ITE — Institute of Transportation Engineers), Associação Americana de Transportes Públicos (APTA — American Public Transportation Association), o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE — Institute of Electrical and Electronics Engineers) e a Associação Nacional de Fabricantes Elétricos (NEMA — National Electrical Manufacturers Association) para lidar com as exigências de interação entre os diferentes aplicativos de ITS.

Os padrões ITS apresentam diretrizes técnicas e exigências para cada componente de um sistema ITS. Eles orientam cada aspecto das comunicações das aplicações técnicas e do sistema e a conformidade com todas as aplicações é necessária. A fim de especificar devidamente os padrões de ITS, os agentes precisam personalizá-los para atender às necessidades e aos requisitos do projeto. Para obter mais informações sobre os padrões do ITS e como especificá-los para os projetos, consulte o website de capacitação profissional do USDOT.
Um conjunto de módulos de Treinamento em Padrões de ITS se encontra em www.pcb.its.dot.gov/stds_training.aspx.

Como usar o SEP para o desenvolvimento de projetos do ITS

Conforme abordado anteriormente, o SEP pode ser visto como uma extensão do processo tradicional de desenvolvimento de projeto que já foi estabelecido pelas agências de transporte. Apesar de os processos de desenvolvimento de projeto variarem de estado para estado e de organização para organização dentro de cada estado, o processo de desenvolvimento dos projetos de transporte tendem a seguir os mesmos passos principais.

- Iniciação do projeto — Neste passo, o gerente de projetos é identificado, a equipe de projeto é montada e o desenvolvimento do projeto é planejado. O âmbito de alto nível do projeto é desenvolvido, os custos são calculados e os formulários necessários e as listas de verificação são preenchidos para obter a aprovação do projeto por parte das agências patrocinadoras e financiadoras. Para a FHWA e a FTA, este é um ponto crítico do processo, no qual a aprovação para dar continuidade é dada e o

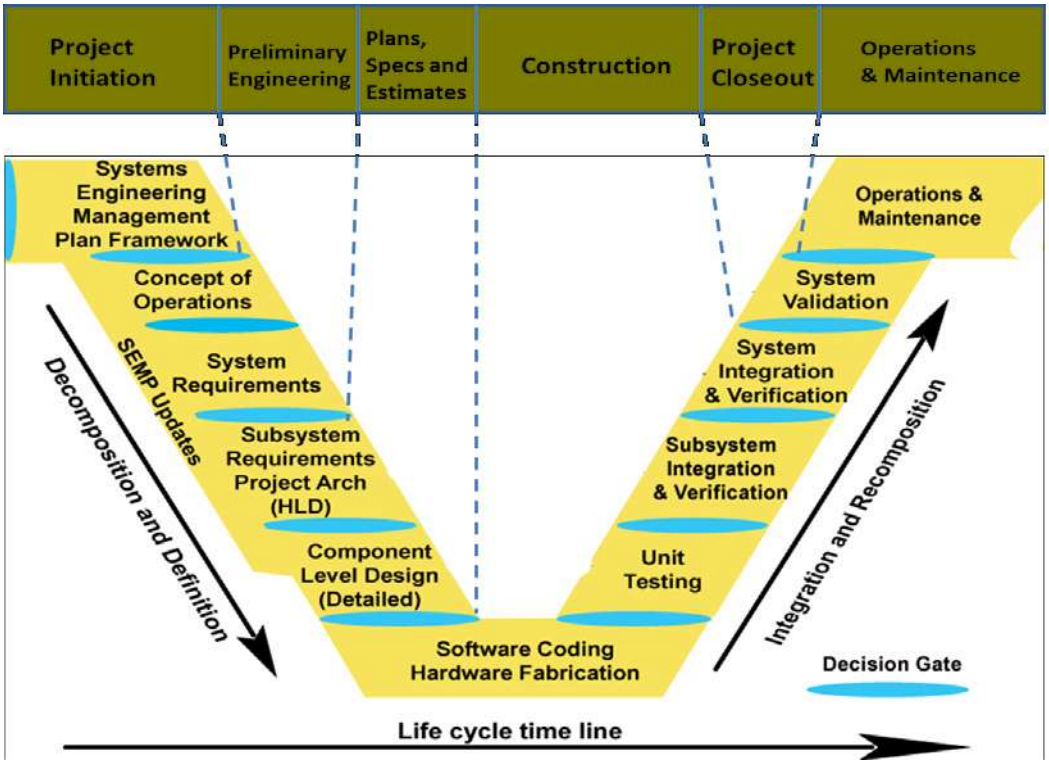
financiamento federal é comprometido.

- Engenharia preliminar — No processo tradicional de desenvolvimento de capital para projetos, são realizados estudos ambientais e de direito de passagem, entre outros, dependendo do tipo de projeto. Esses estudos resultam em uma melhor compreensão dos requisitos e limites do projeto. Os projetos do ITS que incluem um componente de construção requerem os mesmos estudos, além de análises de engenharia adicional para especificar completamente os requisitos do projeto para a parte de ITS do projeto.

- Planos, especificações e estimativas — É documentado o design detalhado do projeto, completo com as especificações detalhadas do projeto, as estimativas para os materiais necessários e os custos associados. Em um projeto de construção tradicional, esse passo do processo oferece às empresas todas as informações necessárias para criar um orçamento exato.
- Construção — O projeto é construído. Para um projeto de transporte tradicional, essa é a construção da própria melhoria física. Para um projeto de ITS, isso inclui a aquisição e implantação do hardware, software e produtos de capacitação (ex.: manuais, procedimentos operacionais e treinamento).
- Encerramento do projeto — Após a inspeção e o teste final, o projeto concluído é aceito, os planos de construção são criados e um histórico do projeto é concluído.

É mantida a correspondência entre o SEP e o processo de desenvolvimento de transporte tradicional, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6. Correlação entre SEP e processo tradicional de desenvolvimento de transporte



A fase de iniciação de projeto inclui atividades que ocorrem antes do início do projeto, o que inclui o processo de aquisição. O impacto do SEP na aquisição do projeto de ITS é descrito nos Documentos Modelo de Engenharia de Sistemas para os sistemas de Tecnologia de Controle de Sinal Adaptativo (ASCT — Adaptive Signal Control Technology).[14] A engenharia preliminar corresponde ao conceito de operações e aos passos dos requisitos de sistema. O passo de planejamento, especificação e estimativa se relaciona aos passos de design. Finalmente, o passo de construção é análogo aos passos de desenvolvimento e verificação do SEP.

Requisitos da análise de engenharia de sistema

A Regra 940 (Seção 940.3, Definições) contém os requisitos específicos relacionados à análise da engenharia de sistema (SEA — systems engineering analysis) para os projetos de ITS que usam Fundos do Fideicomisso de Rodovias (consultar barra lateral). A regra define um projeto de ITS como "qualquer projeto que financia, total ou parcialmente, a aquisição de tecnologias ou sistemas de tecnologia que proporcionam ou contribuem de maneira considerável com o fornecimento de um ou mais serviços de usuários de ITS na Arquitetura Nacional do ITS".

Várias observações importantes podem ser feitas sobre esses requisitos de SEA. Por exemplo, o item (b) indica que a análise deve ser feita em uma escala que condiga com o âmbito do projeto. Esse é um conceito primordial do SEP: que o nível de empenho seja adaptado ao âmbito do projeto. Conforme mencionado anteriormente neste módulo, o SEP não é um processo que se ajusta a qualquer caso. Na verdade, o empenho feito deve ser relacionado ao âmbito do projeto. Uma maneira importante para avaliar o nível de empenho necessário é considerando o risco associado ao projeto. Um projeto de risco bem baixo (ex.: instalação de mais câmeras de circuito fechado como parte de um sistema existente) pode ter continuidade com um SEP mínimo, possivelmente como referência a um trabalho feito nos estágios anteriores do projeto. No entanto, um projeto com mais riscos inerentes (ex.: o desenvolvimento inicial da Central de Operações de Trânsito em uma região) provavelmente passaria passo a passo pelo processo.

Os requisitos da Seção 940.11 correspondem ao SEP, mas não são idênticos, porque a Regra 940 foi publicada em 2001, antes do desenvolvimento do SEP para os projetos de transporte que é mencionado no presente módulo.
Entretanto, se os passos do SEP forem seguidos conforme descrito acima, todos os requisitos da regra serão abordados pelos passos, desde o conceito de operações até o design detalhado. Muitos estados desenvolveram formulários de revisão de engenharia de sistemas com base nos requisitos —formulários esses que podem ser usados como listas de verificação para identificar como os resultados da engenharia de sistemas de um projeto de ITS em particular lidam com os requisitos da Regra 940 de SEA.

Relação com o planejamento de transporte

Apesar de a maioria dos passos no SEP abordarem o ciclo de vida de um projeto específico (indo do planejamento da gestão de engenharia de sistemas até a validação de sistema), as asas do diagrama V afetam o planejamento dos sistemas de ITS. Esse planejamento ocorre dentro da estrutura do processo geral de planejamento de transporte.

O planejamento de transporte geralmente é realizado pelos DOTs estaduais e as organizações de planejamento metropolitano (MPOs — metropolitan planning organizations). Um resultado importante do processo de planejamento é o plano de transporte de longo alcance (LRTP — long-range transportation plan). Esse plano às vezes é chamado de plano de transporte metropolitano (MTP — metropolitan transportation plan) no nível da MPO e de plano de transporte de longo alcance no nível estadual. Nas áreas metropolitanas, o plano de transporte

é uma declaração das maneiras como a região planeja investir no sistema de transporte. De acordo com o regulamento federal, o plano deve "incluir estratégias/ações de programa tanto de curto como de longo alcance, que orientem o desenvolvimento de um sistema de transporte intermodal integrado que facilite a movimentação eficiente de pessoas e mercadorias". O segundo resultado importante do processo de planejamento é o Programa de Melhoria do Transporte (TIP — Transportation Improvement Program). Nos dois níveis abordados neste módulo, eles são na verdade chamados de TIP Metropolitano e TIP Estadual. No TIP, a MPO identifica os projetos e as estratégias de transporte do MTP que planeja realizar no curso dos próximos quatro anos.

Todos os projetos que recebem financiamento federal precisam ser incluídos no TIP. O TIP é a maneira como a região distribui seus recursos limitados de transporte dentre as diversas necessidades operacionais e de capital dentro da área, de acordo com um conjunto claro de prioridades de transporte em curto prazo.[15]

A arquitetura regional do ITS abordada no primeiro passo do SEP representa o plano regional para o emprego do ITS.

A arquitetura representa uma lista de itens desejados pelos projetos de ITS e que não têm restrições fiscais. Por causa da margem de tempo da arquitetura regional do ITS, ela geralmente vai conter resultados que podem ser usados no desenvolvimento tanto do LRTP como do TIP.

Por exemplo, a arquitetura geralmente contém uma lista de projetos de médio e longo prazo, que representam iniciativas que ainda não receberam financiamento e, por isso, podem servir de material para a criação do TIP.

Se forem descritos em termos mais gerais de estratégias, os projetos podem servir de material para as estratégias descritas no LRTP. Como os sistemas de ITS têm ciclos de vida geralmente inferiores a 10 anos, o planejamento de transporte precisa incluir considerações explícitas sobre a atualização ou reposição das tecnologias, como por exemplo os projetos de conservação do sistema na arquitetura regional do ITS. Um debate mais completo sobre como a arquitetura regional do ITS apóia o planejamento de transporte encontra-se no *Documento guia da arquitetura regional do ITS*[16] e em *Como aplicar uma arquitetura regional do ITS para apoiar o planejamento das operações: Básico*.[17]

Tanto a exploração do conceito como os passos de aposentadoria ou reposição do SEP oferecem resultados que apóiam o planejamento de ITS. No passo de exploração do conceito, o resultado do empenho definirá os parâmetros técnicos e de custo para os projetos ou as iniciativas que entrarão no TIP ou no LRTP. Conforme descrito anteriormente, esse passo conceita conceitos alternativos para identificar aquele que ofereça a melhor relação custo-benefício ou justificativa para os negócios. No passo de aposentadoria ou reposição, realiza-se um estudo ou uma análise para determinar a melhor abordagem para lidar com o fim da vida útil de um sistema em particular. Os resultados da análise ou do estudo passam então para o LRTP (se a reposição resultante estiver num futuro mais distante) ou para o TIP (se a reposição estiver pronta para ser programada como um projeto TIP).

Resumo

O presente módulo ofereceu uma visão geral passo a passo do processo de engenharia de sistemas, conforme aplicado ao campo de ITS. Os tópicos relacionados à Arquitetura Nacional do ITS e ao Programa de Padrões ITS foram abordados juntamente à sua relação com o SEP. Finalmente, o módulo descreveu a relação entre o SEP e o desenvolvimento do projeto e planejamento de ITS.

Referências

1. Projeto Apollo: A Retrospective Analysis [Uma análise retrospectiva],

http://history.nasa.gov/Apollomon/Apollo.html
2. *INCOSE Systems Engineering Handbook* [Guia de Engenharia de Sistemas INCOSE], Versão3.1, 2007.
3. Agência Federal de Rodovias (FHWA — Federal Highway Administration), Regra final 940 sobre a Arquitetura e Conformidade Padrão em ITS, e política da Administração Federal de Trânsito (FTA — Federal Transit Administration) sobre a Arquitetura e Conformidade Padrão em ITS, aprovada em 8 de janeiro de 2001, www.ops.fhwa.dot.gov/its_arch_imp/policy.htm
4. *Systems Engineering for ITS — An Introduction for Transportation Professionals* [Sistemas de Engenharia para ITS — Uma introdução para os profissionais de transporte], USDOT, Setembro de 2007, http://ops.fhwa.dot.gov/publications/seitsguide/seguide.pdf

5. *Systems Engineering Guidebook for ITS* [Guia de Engenharia de Sistemas para ITS], Versão 3.0, FHWA e Caltrans, Novembro de 2009, www.fhwa.dot.gov/cadiv/segb/
6. ANSI/AIAA G-043A-2012, *Guide for the Preparation of Operational Concept Documents* [Guia para a preparação de documentos de conceito operacional], Instituto Americano de Aeronáutica e Astronáutica (AIAA — American Institute of Aeronautics and Astronautics), 2012.
7. ANSI/GEIA EIA-632, Processes for Engineering a System [Processos para a engenharia de um sistema], 1º de setembro de 2003.
8. *Systems Engineering for ITS — An Introduction for Transportation Professionals [Sistemas de Engenharia para ITS — Uma introdução para os profissionais de transporte]*.
9. *Systems Engineering Guidebook for ITS* [Guia de Engenharia de Sistemas para ITS], Versão 3.0.
10. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* [Guia para o conjunto de conhecimentos em gestão de projetos], (Guia PMBOK(R)), 2013.
11. ANSI/EIA 649-1998, National Consensus Standard for Configuration Management [Padrão Nacional de Consenso para a Gestão de Configuração].
12. *Systems Engineering for ITS — An Introduction for Transportation Professionals [Sistemas de Engenharia para ITS — Uma introdução para os profissionais de transporte]*.
13. *Regional ITS Architecture Guidance Document* [Documento de Diretrizes para a Arquitetura Nacional do ITS], Versão 2.0, USDOT, julho de 2006, www.ops.fhwa.dot.gov/publications/regitsarchguide/index.htm
14.Documentos Modelo de Engenharia de Sistemas para sistemas de Tecnologia de Controle de Sinal Adaptativo (ASCT), FHWA, FHWA-HOP-11-027, agosto de 2012, http://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop11027/
15. *The Transportation Planning Process, Key Issues: A Briefing Book for Transportation Decisionmakers, Officials, and Staff* [O processo de planejamento de transporte — Principais questões: Um resumo para oficiais, funcionários e aqueles que tomam decisões sobre transporte], USDOT, 2007, www.planning.dot.gov/documents/briefingbook/bbook.htm
16. Regional ITS Architecture Guidance Document.
17. *Applying a Regional ITS Architecture to Support Planning for Operations: A Primer* [Documento de Diretrizes para a Arquitetura Regional do ITS. Como aplicar a arquitetura regional do ITS para apoiar o planejamento das operações: Uma base], USDOT, FHWA-HOP-12-001, fevereiro de 2012, www.ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop12001/

Recursos

1. IEEE 1028-1997, IEEE Standard for Software Reviews [Padrão IEEE para Revisão de Software], Institute of Electrical and Electronics [Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos], 1988.

2. IEEE 1220-2005, IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process [Padrão IEEE para a aplicação e gestão de Processo de Engenharia de Sistemas], Institute of Electrical and Electronics Engineers [Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos], 9 de setembro de 2005.

3. IEEE Std 1362-1998, IEEE Guide for Information Technology – System – Definition – Concept of Operations (ConOps) Document [Guia IEEE para Tecnologia da Informação: Sistema: Definição: Documento de Conceito de Operações], Institute of Electrical and Electronics Engineers [Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos], 1998.

4. ISO/IEC 15288:2008, Systems and Software Engineering—System Life Cycle Processes